

文章编号: 1000-694X(2008)06-1197-05

张掖市国民经济用水的投入产出分析

王 勇, 肖洪浪, 陆明峰

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 黑河生态水文与集成流域管理研究重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 引入投入产出方法作为分析工具, 以黑河流域中游的张掖市为例, 计算了各产业部门的直接用水系数、完全用水系数、用水乘数以及各产业部门间的水交换系数。计算结果表明: 各农业部门虽然使用了大量的水, 但是绝大部分水在生产过程中被嵌入农产品, 并成为各产业部门间接用水的最主要来源; 各工业和服务业部门间接消耗水资源的能力比较强, 对本地经济的发展具有一定的拉动作用; 在社会经济系统中充分循环本地有限的水资源有助于用水效率的提高。

关键词: 投入产出; 产业部门; 直接用水; 间接用水; 完全用水; 水交换系数

中图分类号: F323

文献标识码: A

水资源是人类生存和社会经济发展中最重要的基本要素和战略资源, 同时也是我国西北干旱区社会经济发展和生态环境建设的最主要制约因素^[1-2]。在可利用水量有限的情况下, 如何维持水资源这种最关键基础自然资源的可持续利用已成为我国西北内陆河流域可持续发展需要解决的一个重要战略问题^[2]。张掖市地处黑河中游, 总面积 4.19 万 m^2 , 集中了全流域 95% 的耕地、91% 的人口和 89% 的国内生产总值, 是流域内水资源的主要利用地区^[3]。全区人均可用水量 1 250 m^3 、单位面积平均 7665 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, 分别为全国平均水平的 57% 和 29%, 属典型的资源型缺水地区^[4-5]。经水资源供需分析, 现状平水年时, 全区可用水量为 24.50 亿 m^3 , 而国民经济需水总量却为 26.79 亿 m^3 , 缺水 2.29 亿 m^3 , 缺水程度为 8.50%^[6]。随着人口的增长、经济发展速度的加快和生态环境建设规模的扩大, 需水量必然持续增加, 水资源供需矛盾将日益尖锐。作为世界上水资源严重缺乏的地区之一, 如何保证水资源有效地供给, 以满足日益增长的生活和工农业生产的需求, 提高现有水资源的利用率成为一个迫切需要解决的问题。

从当前国际研究和实际应用来看, 在水资源出现短缺的初始阶段, 通过建设大的工程或者借鉴水资源利用效率较高的先进技术, 可以满足人口增长和经济发展对水资源的需求, 但是却无法从根本上解决干旱地区水资源短缺的严峻现实^[1,7]。当水资源需求严重超过其可持续利用状态时, 以提高水资源

利用效益为目标的水资源社会化管理就变得相当重要。水资源社会化管理的关键任务是充分认识水资源的社会属性, 并阐明采用新的水资源管理适应性对策的社会瓶颈, 从而制定相应的对策来调控水资源短缺情况下人们的生产和生活^[2]。但是对水资源社会属性的认识不能就水论水, 而应把水资源的利用与经济发展速度、结构联系起来考虑, 既考虑宏观经济系统中的投入产出关系, 也重视宏观经济发展与水资源配置之间的相互制约、相互促进的关系。尤其对于水资源缺乏的地区, 应统一考虑经济调整与经济发展对水资源需求量的变化, 将水资源使用与社会经济发展的投入产出分析结构联系起来, 探讨水资源效益的合理分配问题。本文在投入产出理论的基础上, 建立了价值—实物混合型的水资源投入产出模型, 并以此分析了张掖市各产业部门的用水特征以及各产业部门间的水交换关系。研究结果可为适应区域水资源短缺状况的产业布局以及生产结构的规划与调整提供决策依据。

1 研究方法 with 数据获取

1.1 投入产出分析方法

投入产出分析方法是一种用代数联立方程体系来描述产业链上各产业依存关系的经济分析方法^[8-9]。在投入产出分析中, 一个部门的产出按照用途分为中间使用和最终使用两部分。例如, 对于部门 i , 其产出 x_i 可以表示为:

收稿日期: 2007-09-20; 改回日期: 2007-11-05

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“黑河流域生态-水文过程研究集成”(90702001); 中国科学院知识创新工程重要方向项目“黑河流域水循环与水资源管理研究”(KZCX2-XB2-04-03) 共同资助

作者简介: 王勇(1978—), 男, 山东滨州人, 博士研究生, 主要从事水资源经济方面的研究。Email: yongw1211@126.com

$$x_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} + y_i \tag{1}$$

式中: x_{ij} 为第 j 个部门对第 i 个部门产品的直接消耗量; y_i 为第 i 个部门产品的最终使用量。当引入技术系数 a_{ij} 后, 公式(1)变为:

$$x_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j + y_i \tag{2}$$

式中: a_{ij} 为在一定的技术水平下, 第 j 个部门生产单位产品时, 对第 i 个部门产品的直接消耗。

若将整个经济系统看作为一个整体, 就会有 n 个类似于式(2)的数学表达式分别表示各个产业部门的生产状况, 则一个地区的经济生产可以矩阵的形式表示出来:

$$X = AX + Y \tag{3}$$

式中: A 为技术系数矩阵; X 为部门产出向量; Y 为最终使用向量。对上式中的 X 求解, 就可以得到各产业部门在产业链上复杂的技术经济联系。

$$X = (I - A)^{-1}Y \tag{4}$$

$B = (I - A)^{-1}$ 为列昂惕夫逆矩阵, 它是投入产出分析的最核心部分。矩阵中的每个元素 b_{ij} 为第 j 个部门生产单位最终使用产品时, 对第 i 个部门产品的完全需求量, 包括直接需求、间接需求和最终需求三个部分。按照矩阵运算法则, 列昂惕夫逆矩阵可展为:

$$(I - A)^{-1} = I + A + A^2 + \dots + A^n \tag{5}$$

(5) 式明确地给出了列昂惕夫逆矩阵的三个组成部分: n 个部门的单位最终使用矩阵 I ; 生产单位最终使用产品所需要的直接消耗矩阵 A ; 生产单位使用产品所产生的全部间接消耗矩阵 $A^2 + \dots + A^n$ 。

随着社会生产专业化和社会化进程的不断加快, 各产业部门间的关联和依存关系越来越紧密。投入产出分析能从经济系统的整体出发, 定量地分析各产业部门间错综复杂的经济关系, 成为公共管理的重要分析方法之一^[8, 10]。基于对列昂惕夫逆矩阵的认识, 将水资源作为各产业部门的生产要素, 选取一定的指标计算各产业部门的用水强度以及部门间的水交换系数就可以更为直观和准确地研究各产业部门的用水状况。

1.2 分析指标的选取

1.2.1 用水强度

部门的用水强度是指生产单位产品所使用的水资源量, 能够反映各部门对水的依赖程度。在分析国民经济用水时, 最常用来度量部门用水强度的指标是直接用水系数 w_{di}^* , 即生产单位产品所需要的自然形态的水资源量。

$$w_{di}^* = w_{di} / x_i \tag{6}$$

式中: w_{di} 为部门 i 的直接用水量。

直接用水系数仅反映各产业部门直接用水的效率, 但实际上, 任何产品在生产过程中除了直接消耗一些自然形态的水外, 还需要一定数量各部门的产品作为中间投入, 而这些产品在生产过程中也需要消耗水, 这一部分水的消耗虽发生于其他部门, 但却是为满足这个部门对中间投入的需求而产生的间接用水, 所以也应计入该部门对水资源的总使用中, 即完全需水量^[11]。为了便于理解, 这里举一个简单事例, 如小麦在生产过程中需要一定量的水进行灌溉, 这些灌溉用水就是小麦生产的直接用水。此外, 小麦在生产过程中需要投入种子、化肥和农药, 并且在播种、灌溉、喷药以及收割时还需要投入机械设备, 而生产这些农资同样需要消耗一定量的水。虽然这些水的消耗并不直接发生在小麦的生产过程中, 但对于小麦的生产来说同样必不可少, 这就是小麦生产的间接用水。因此, 对于一定量小麦来说, 其生产过程中直接用水与间接用水之和就是生产这些小麦的完全用水。

与直接用水系数一样, 完全用水系数也具有明确的经济意义。一个部门的完全用水系数等于该部门增产一单位产品所需整个经济体系总用水量的增加量, 不仅包含了本部门直接用水, 还包括了为生产本部门产品所需中间投入产品在生产中所使用的水资源。完全用水系数 w_{ti}^* 着眼于整个经济体系, 因此它的计算依赖于部门间错综复杂的投入产出关系。

$$W_t^* = W_d^* (I - A)^{-1} \tag{7}$$

其中: $W_t^* = [w_{t1}^*, w_{t2}^*, \dots, w_{tn}^*]$,

$$W_d^* = [w_{d1}^*, w_{d2}^*, \dots, w_{dn}^*]$$

1.2.2 用水乘数

在直接消耗水资源的同时, 生产过程中的中间投入还引起了水资源的间接消耗。为研究直接用水与完全用水以及间接用水的关系, 这里引入用水乘数对此进行分析。

$$twci = \frac{w_{ti}^*}{w_{di}^*} \tag{8}$$

上式给出了经济部门 i 的总用水乘数 $twci$, 它表示该部门单位直接用水所引起整个经济系统的总用水量^[12]。仅需将总用水乘数稍作调整, 就可得到间接用水乘数 $iwci$, 即一个部门单位直接用水所引起整个经济系统的间接用水量。

$$iwci = \frac{w_{ti}^*}{w_{di}^*} - 1 = twci - 1 \tag{9}$$

1.2.3 水交换系数

用水乘数仅反映了某个部门直接用水和间接用水或总用水的关系,而并不能说明被间接消耗水资源的来源。因此,类似于一般投入产出分析中的完全消耗系数,这里构建了一个部门间的完全用水系数矩阵来反映产业链上各产业间的水依存关系,对于矩阵中的每个系数:

$$q_{ij} = \frac{w_{di} \cdot c_{ij} \cdot x_j}{w_{di}}$$

其中

$$c_{ij} = \begin{cases} b_{ij} - 1 & i = j \\ b_{ij} & i \neq j \end{cases} \quad (10)$$

水交换系数 q_{ij} 表示在一定技术水平下,第 j 个部门直接消耗单位水资源时,经济系统中其他各部门向第 j 部门输入的水资源量,它反映了第 j 部门与各产业部门间的水依存联系。

1.3 基础数据的获取

文中的投入产出数据来源于陈东景编制的张掖市 2002 年 10 部门投入产出表^[13],产业部门包括种植业、林业、畜牧业、渔业、采掘业、制造业、电力业、建筑业、运输邮电业和服务业。分部门直接用水量(表 1)的原始数据以甘肃省水利厅的《甘肃 2002 年水资源公报》为准,并参考了 2002 年张掖市水利处的《农田灌溉统计年报》以及环保处的《2002 年张掖市环境保护统计报表》部分数据。

2 结果与分析

2.1 产业部门用水性质分析

借助于投入产出技术,并根据公式计算出了各产业部门的直接和完全用水系数,表 1 汇总了张掖市各产业部门的产出和用水情况。如仅考虑各产业部门的直接用水量,由表 1 可以看出各农业部门的用水量比较高,总量超过 20 亿 m^3 ,相当于张掖市国

民经济用水总量的 94.66%,远远超过工业部门与服务业部门用水量。当结合部门产出,考虑到各产业部门直接用水系数后,通过对各产业部门的直接用水与单位产出的直接用水两指标的对比,发现各农业部门的耗水次序发生了一定的变化:渔业部门单位产出的用水量最高,达 12 942.16 m^3 /万元,这与该类部门的生产特性,即对水依赖程度大有关;而直接用水量最多的种植业,虽然其用水量占到国民经济总用水的 85.01%,但是较高的部门产出使其单位产出的用水量相对较低;与此相比,一些部门,如林业,因其产出量很低,仅占社会总产值的 0.74%,造成单位产出的用水量非常高,仅次于渔业部门。此外,相对于农业部门,各工业和服务业部门单位产出的直接用水量仍然较低,低于 100 m^3 /万元,说明它们的用水效率较高,这就意味着一些工业部门,如制造业,具有相对较高直接用水量的原因是其生产规模大,且拥有高的部门产出。

完全用水系数反映了各产业部门生产单位产品所需要总的水资源量。由计算结果(表 1)可以看出,考虑到完全用水后,尽管各产业部门单位产出的用水总量都有不同程度的上升,但是各农业部门单位产出的总用水量仍然远远高于工业和服务业部门。这一结果再一次直观的印证了农业生产用水效率低下的事实,同时也表明通过产业结构的优化与升级,调整当前各产业的用水比例,具有很大的节水潜力。将完全用水系数与直接用水系数相对比就能考察发生在生产过程中各部门的间接用水情况。由表 1 中两指标的对比情况来看,除畜牧业外,其他各农业部门对水资源的直接消耗均超过了其总消耗量的 70%,林业更是高达 83.33%,说明农业部门在生产过程中很少间接消耗水资源,因此农业的发展需要消耗掉大量的实体水。相反,建筑业、采掘业、制造业、运输邮电业以及服务业等产业部门,其直接用水量在总用水量中的比例非常低,均低于 10%,这就意味着这些部门在生产的过程中虽然消耗了少量

表 1 张掖市 2002 年各产业部门的产出和用水情况

Table 1 The output and water consumption of 10 sectors in Zhangye, 2002

部门	x_i /万元	w_{di} /万 m^3	$w_{di}^*/(m^3 \cdot 万元^{-1})$	w_{ii} /万 m^3	$w_{ii}^*/(m^3 \cdot 万元^{-1})$	$w_{ii}/w_{di} / \%$
种植业	320 534.21	189 038.00	5 897.59	232 495.12	7 253.36	81.31
林业	12 409.50	10 600.25	8 542.04	12 720.96	10 250.98	83.33
畜牧业	103 836.95	9 328.95	898.42	32 028.86	3 084.53	29.13
渔业	1 199.14	1 551.95	12 942.16	2 024.69	16 884.53	76.65
采掘业	74 136.00	401.82	54.20	4 838.74	652.68	8.30
制造业	405 251.00	3 752.62	92.60	66 079.65	1 630.59	5.68
电力业	36 737.00	1 512.74	411.78	3 205.44	872.54	47.19
建筑业	272 330.00	501.09	18.40	24 390.71	895.63	2.05
运输邮电业	105 050.00	120.81	11.50	6 597.17	628.00	1.83
服务业	338 702.00	605.00	17.86	15 362.76	453.58	3.94

自然形态的水,但是却消耗了嵌入在其他部门对其中间投入产品中的大量水资源,而这种水则可以通过虚拟水贸易的方式来获取。相比之下,各农业部门,尤其是种植业的发展只能靠消耗本地十分有限的水资源。

引入用水乘数后,就可以更为清晰地研究各产业部门在生产过程中的直接用水与总用水量以及间接用水量的关系。应该引起注意的是,如果仅仅考虑各产业部门的直接用水系数或完全用水系数,建筑业与运输邮电业的这两个指标都很小,非常容易被忽略,但是如果着眼于用水乘数,就会发现这两个产业在生产过程中将间接消耗掉大量的水资源。由

表 2 中的计算结果可以看出对于建筑业和运输邮电业来说,生产中每直接消耗 1 m³ 的水资源,这两部门将会分别间接消耗掉 47.68 m³ 和 53.61 m³ 的水资源,说明它们间接消耗水资源的能力非常强,同时也表明这些产业部门与其他产业部门间的关联性非常强。因此这些产业部门的发展,一方面可以加大对地区外虚拟水含量较高商品的需求,增加虚拟水流入量;另一方面会增加它对本地直接耗水较高部门产品的使用,使本地有限的水资源在经济系统中得到充分循环,有助于水资源利用效率的提高。今后在制定经济政策时,决策人员应该注意到这一点。

表 2 张掖市 2002 年各产业部门的用水乘数

Table 2 The water consumption multiplier of 9 sectors in Zhangye, 2002

部门	种植业	林业	畜牧业	渔业	采掘业	制造业	电力业	建筑业	运输邮电业	服务业
直接用水乘数	1.23	1.20	3.43	1.30	12.04	17.61	2.12	48.68	54.61	25.39
间接用水乘数	0.23	0.20	2.43	0.30	11.04	16.61	1.12	47.68	53.61	24.39

2.2 产业部门间水资源投入与产出关系分析

由公式(10)计算出了部门间的水交换系数,表 3 给出了水交换系数矩阵。从垂直方向看,矩阵的第 j 列元素表示第 j 个部门直接消耗 1 单位实体水时对各部门产品中所包含水的需求量,各行相加就是部门 j 直接消耗 1 单位水时所引起各部门消耗的水资源量;从水平方向看,矩阵的第 i 行各元素仅表示部门 i 向各部门生产提供水的情况。通过对该矩阵的分析,发现生产过程中的水交换仅局限于一部分经济部门,因为矩阵中有相当一部分系数比较小,尤其是第 1、2、3、4 和 7 等各列中的系数,绝大部分

都小于 0.200,这说明各农业部门和电力业部门在生产过程中很少间接消耗水资源。矩阵中也有一些系数比较大,主要集中在第 1 行和第 5、6、8、9、10 列。从行看,种植业在生产过程中虽然直接消耗了大量的自然状态的水,但是当这些水嵌入种植业产品后,却随着对各经济部门的中间投入而广泛地流入到经济系统中;从列看,采掘业、建筑业、运输邮电业和服务业等部门间接消耗的水资源主要来自于各农业以及服务业、电力业和制造业等部门产品,而电力业、制造业和服务业三产业部门间接消耗的水资源还是主要来自于种植业、林业等农业部门产品。综合以上分析,可以看出产品中嵌入大量水的农业

表 3 张掖市 2002 年各产业部门间的水交换系数

Table 3 The water transaction coefficients of 9 sectors in Zhangye, 2002

部门	农业	林业	畜牧业	渔业	采选业	制造业	电力业	建筑业	运输邮电业	服务业
农业	0.204	0.032	2.329	0.241	6.511	14.119	0.568	35.193	39.457	15.525
林业	0.002	0.161	0.009	0.004	0.135	0.115	0.008	0.346	0.583	0.714
畜牧业	0.015	0.001	0.045	0.003	0.270	0.604	0.024	1.439	1.665	0.675
渔业	0.001	0.001	0.005	0.051	0.277	0.139	0.020	0.643	1.283	3.091
采选业	0.000	0.000	0.001	0.000	0.245	0.056	0.017	0.397	0.252	0.108
制造业	0.003	0.002	0.022	0.002	0.659	0.562	0.060	3.609	3.813	1.403
电力业	0.004	0.002	0.020	0.003	2.765	0.925	0.407	5.528	5.544	2.366
建筑业	0.000	0.000	0.001	0.000	0.033	0.017	0.005	0.187	0.280	0.178
运输邮电业	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034	0.014	0.002	0.071	0.209	0.072
服务业	0.000	0.000	0.002	0.000	0.113	0.057	0.008	0.262	0.523	0.260

部门成为整个国民经济间接用水的最主要提供者。

3 结论与讨论

1) 尽管张掖市是一个严重的缺水地区,但是它却拥有包含多个高耗水产业部门在内的经济结构,这些部门主要是种植业、林业和渔业等农业部门,均

具有极高的用水系数。如果这些部门对水资源的需求得不到满足,产业部门间复杂的投入产出关系将会导致整个经济生产活动的萎缩,进而给张掖市社会经济的发展带来严重的负面效应。

2) 通过对张掖市各产业部门用水系数和用水乘数的分析,发现农业部门用水特征表现为较高的直

接用水和较低的间接用水, 而各工业和服务业部门正好相反。在分析张掖各产业部门用水时, 如果仅考虑各个部门的直接用水, 建筑业与运输邮电业将会被从高耗水部门中剔除, 因为它们的直接用水强度并不明显, 但是其间接消耗水资源的能力却非常强。从这个方面出发, 在制定和实施一个国家或地区的水资源调配政策时, 有必要综合考虑其各产业部门的直接用水与间接用水情况。

3) 在研究地区, 由于水资源在其经济发展中的重要作用以及各产业部门间的投入需求关系, 那些间接用水较高的产业部门成为张掖经济发展的重要“拉动力”, 因此在今后的发展中应该得到支持。如果这些部门能得到充分的发展, 它们对其他部门产品的强烈需求必定会带动其他产业部门乃至整个地区经济的发展。但是具有发展潜力的经济政策不仅要考虑到经济效益, 还需要考虑到资源和环境状况。在水资源短缺的张掖市, 一方面对于直接用水较高的农业部门, 在发展节水、高效用水等技术的同时, 应该还需要考虑发展“虚拟水”战略, 通过贸易的形式, 从问题范围之外找寻解决本地水资源短缺问题的策略; 另一方面就是引导间接耗水强度较大生产部门在生产中多使用本地虚拟水含量较高的农产品, 增强水资源在本地区社会经济系统中的循环强度。

参考文献(References):

[1] 肖洪浪, 程国栋. 黑河流域水问题与水管理的初步研究[J]. 中

国沙漠, 2006, 26(1): 1- 5.

- [2] 程国栋. 虚拟水——中国水资源安全战略的新思路[J]. 中国科学院院刊, 2003, 18(4): 260- 265.
- [3] 张凯, 宋连春, 韩永翔, 等. 黑河中游地区水资源供需状况分析及对策探讨[J]. 中国沙漠, 2006, 26(5): 842- 848.
- [4] 鲍超, 方创琳. 西北干旱区水资源约束城市化进程的定量辨识——以甘肃省武威、张掖市为例[J]. 中国沙漠, 2007, 27(4): 704- 710.
- [5] 蓝永超, 康尔泗, 张济世, 等. 黑河流域水资源开发利用现状及存在问题分析[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(6): 34- 39.
- [6] 马国霞, 甘国辉, 田玉军. 水资源约束下的张掖绿洲城镇发展模式初步研究[J]. 中国沙漠, 2006, 26(3): 426- 431.
- [7] 陆明峰, 司建华, 肖生春. 黑河调水的生态- 经济思考[J]. 中国沙漠, 2006, 26(4): 670- 674.
- [8] 黄晓荣, 裴源生, 梁川. 宁夏虚拟水贸易计算的投入产出方法[J]. 水科学进展, 2005, 27(3): 135- 139.
- [9] 石敏俊, 金凤君, 李娜, 等. 中国地区间经济联系与区域发展驱动力分析[J]. 地理学报, 2006, 61(6): 593- 603.
- [10] Tomohiro O, Masataka W, Xu Kaiqin. Analysis of water demand and water pollutant discharge using a regional input-output table: An application to the City of Chongqing, upstream of the Three Gorges Dam in China[J]. Ecological Economics, 2006, 5(2): 221- 237.
- [11] 许健, 陈锡康, 杨翠红. 完全用水系数及增加值用水系数的计算方法[J]. 水利水电科技进展, 2003, 23(2): 17- 20.
- [12] Esther V. An input-output model of water consumption: Analyzing intersectoral water relationships in Andalusia[J]. Ecological Economics, 2006, 56(2): 226- 240.]
- [13] 陈东景. 环境经济综合核算的理论与实践[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005.

Input-Output Analysis of Water Consumption in Zhangye

WANG Yong, XIAO Hong-lang, LU Ming-feng

(Laboratory of Watershed Hydrology and Ecology, Cold Arid Regions Environment and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract: This paper presents an empirical input-output analysis method for water economy interactions. The research based on this method on Zhangye City, which is located in the middle reaches of Heihe River basin, has calculated the direct and indirect water consumption coefficients, the water consumption multiplier and the water transaction coefficients of various industrial sectors. Results show that the agriculture sectors are the greatest water consumer, but the water consumption is mostly loaded in the agricultural products, which is also taken as the main indirect water source of other various sectors. On the other hand, sectors as industry and service although have high water consumption they can stimulate the local economic development. Only the local limit water resources can be rotationally used sufficiently in the social economic systems, could the water use efficiency be improved.

Keywords: input-output; industrial sectors; direct water consumption; indirect water consumption; total water consumption; water transaction coefficients